TARGETS

Microlog Microfiche Collection
Resolution Chart

Copyright

Copyright for the ***contents*** of this microfiche is held by the publisher of the original document. Please contact the original publisher for guidance in all copyright matters. Copyright in this ***microfiche edition*** is held by Micromedia Limited.

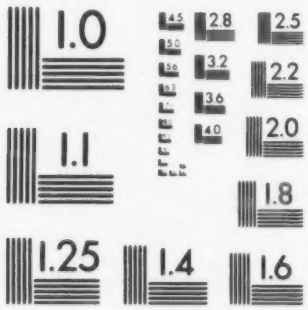
Quality of the Microfiche Reproduction

Micromedia Limited maintains the highest standards for micrographic reproduction. Attempts are made to obtain the best quality print version to microfilm. However, there are some printing styles, colours and graphic layout styles (including maps, graphs and tables) which do not reproduce well. Because of the value of the original document, Micromedia has filmed it recognizing that it may not be as easy to read as the original document.

Some pages have been filmed twice to improve the clarity of the reproduction. Consult both reproductions to ensure that all of the original text is read.

Microcopy Resolution Test Chart
National Bureau of Standards
Standard Reference Material 1010a
(ANSI and ISO Test Chart No. 2)

PM-1 3½"x4" PHOTOGRAPHIC MICROCOPY TARGET
NBS 1010a ANSI/ISO #2 EQUIVALENT



MS109

NATIONAL MICROGRAPHICS ASSOCIATION

24x

micromedia
a division of IHS Canada

20 Victoria Street, Toronto, ON M5C 2N8
Tel: (416) 362-5211
Toll Free: 1-800-387-2689
Fax: (416) 362-6161

Collection MICROLOG sur Micromédia
Tableau de résolution

Droits d'auteurs

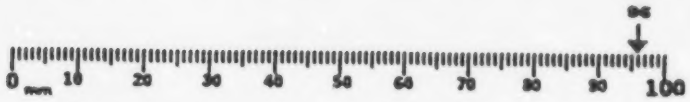
Les droits d'auteurs du conenu de cette microfiche sont détenus par l'éditeur du document original. Veuillez communiquer avec celui-ci pour obtenir des renseignements sur tout ce qui touche les droits d'auteurs. Les droits d'auteurs de cette édition sur microfiche sont détenus par Micromédia Limitée.

Qualité de reproduction sur microfiche

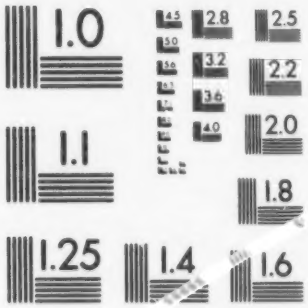
Micromédia Limitée maintient les normes de reproduction micrographique les plus élevées. Elle fait tout son possible pour obtenir la version sur papier à reproduire sur microfiche de la meilleure qualité possible. Cependant, certains styles d'imprimerie, de couleurs et de style de mise en page graphique (incluant des cartes, des grahiques et des tableaux) se reproduisent mal. En raison de la valeur du document original, Micromédia l'a reproduit tout en reconnaissant qu'il ne sera peut-être pas aussi lisable que le document original.

Tableau de résolution micrographique

National Bureau of Standards
Standard Reference Material 1010a
(ANSI and ISO Test Chart No. 2)



PM-1 3½"x4" PHOTOGRAPHIC MICROCOPY TARGET
NBS 1010a ANSI/ISO #2 EQUIVALENT



MS109

24x

NATIONAL MICROGRAPHICS ASSOCIATION

micromedia
a division of IHS Canada

20 Victoria Street, Toronto, ON M5C 2N8
Tel.: (416) 362-5211
Toll free: 1-800-387-2689
Fax: (416) 362-6161

Québec

Note de recherche forestière n° 110

Effets de trois modes de culture sur l'endurcissement des semis d'épinette blanche produits à la pépinière de Trécesson

Mohammed S. Lamhamedi[1], Linda Veilleux, Mario Renaud, France Talbot, Daniel Girard et Philippe Laurendeau

F.D.C. 232.3(047.3)(714)
L.C. SD 404.3

Résumé

Des semis d'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss) (1+0) produits sous tunnel en récipients à parois ajourées (*IPL 25-350A*) et à racines nues couverts, soit par du plastique microperforé ou par une ombrière, ont été comparés, en terme de tolérance au gel artificiel durant l'automne de la première saison de croissance. Le plastique microperforé a été introduit à la pépinière de Trécesson pour améliorer la tolérance précoce des semis à racines nues au gel hâtif. L'utilisation de ce plastique a favorisé l'aoûtement des plants et la cinétique de la formation des bourgeons. Le type de couverture a affecté de façon significative l'endurcissement des semis. La tolérance au gel des semis produits en récipients à parois ajourées, évaluée à l'aide de la conductivité électrolytique et de l'indice de dommages, diffère significativement de celle des semis à racines nues, surtout en début d'automne. Malgré la formation précoce des bourgeons en réaction à l'utilisation du plastique microperforé, ce mode n'a pas pu améliorer la résistance au gel des semis d'épinette blanche, surtout à la fin du mois de septembre. Cependant, la différence entre les trois modes de production en terme de tolérance au gel s'est estompée dès la mi-octobre. À la lumière de ces résultats, il serait préférable d'enlever le plastique microperforé tôt après la formation des bourgeons pour permettre aux semis de percevoir le plus rapidement possible les signaux environnementaux leur permettant d'amorcer les modifications physiologiques nécessaires à l'initiation du processus d'endurcissement.

Mots clés : endurcissement, pépinière, *Picea glauca*, tolérance au gel, récipients à parois ajourées, plants à racines nues.

Abstract

*White spruce seedlings (*Picea glauca *(Moench) Voss) (1+0) grown in a tunnel in air-slit containers (*IPL 25-350A*) and bareroot seedlings covered either with a shade cloth or a microperforated plastic cover were compared in term of tolerance to artificial frost during the autumn of their first growing season. Microperforated plastic covers have been introduced at Trécesson nursery to improve early frost tolerance of bareroot seedlings. The use of micro-perforated plastic has promoted lignification of seedlings and the kinetics of bud formation. The type of cover used had a significant effect on the hardening of seedlings. The frost tolerance of seedlings produced in air-slit containers evaluated with both electrical conductivity and index of injury differed significantly from that of barercot seedlings, particularly at the beginning of autumn. In spite of the early budset in response to the use of microperforated plastic, this cover did not improve frost tolerance of white spruce seedlings, particularly at the end of September. However, this difference between the three covers in term of frost tolerance became not significant from mid-October. These results indicate that it would be preferable to remove the micro-perforated plastic cover just after budset, thus allowing the seedlings to respond rapidly to the environmental signals that permit them to initiate the physiological modifications required for the beginning of hardening process.*

Key words : frost tolerance, hardening, nursery, Picea glauca, *air-slit containers, bareroot seedlings.*

[1] Direction de la recherche forestière - Forêts Québec

Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec) G1P 3W8 Canada

Téléphone : (418) 643-7994
Télécopieur : (418) 643-2165
Courriel : rech.for@mrn.gouv.qc.ca

Tableau 1. Caractéristiques morphologiques, concentrations foliaires et total des fertilisations appliquées à la fin de la première saison de croissance des semis d'épinette blanche 1+0 en fonction des trois modes de production (racines nues sous plastique microperforé, racines nues sous ombrière et récipients sous tunnel)

	Semis à racines nues		Semis en récipients
	sous plastique microperforé	sous ombrière	sous tunnel
Variables morphologiques			
Hauteur (cm)	7,05 ± 1,31	7,74 ± 1,31	9,91 ± 2,09
Diamètre au collet (mm)	1,27 ± 0,22	1,35 ± 0,20	2,10 ± 0,30
Masse sèche de la partie aérienne (mg)	200	241	671
Masse sèche des racines (mg)	60	81	279
Masse sèche totale (mg)	260	322	950
Concentrations foliaires * (%)			
N	2,49	2,15	2,40
P	0,37	0,34	0,34
K	0,98	0,82	1,07
Total des fertilisations appliquées			
Racines nues (Kg/ha)			
N	273	273	
P	76,6	76,6	
K	114	114	
Récipients (mg/plant)			
N			85,2
P			17,8
K			32,3

* Le dosage des éléments nutritifs a été effectué uniquement sur les aiguilles

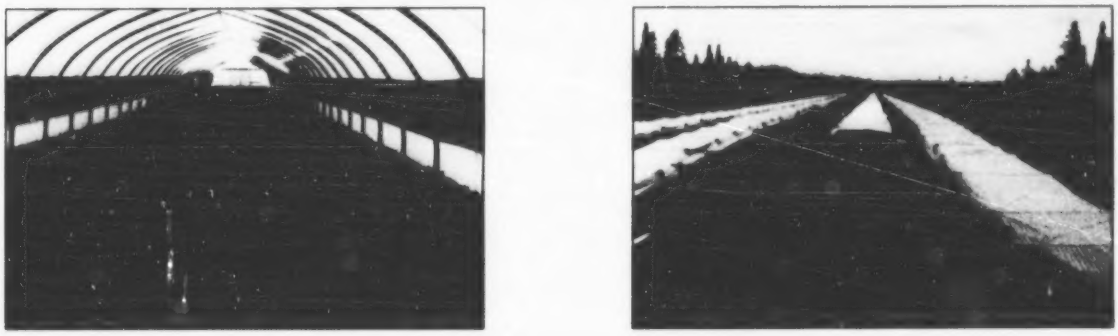


Figure 1. À gauche : Production de plants d'épinette blanche (1+0) sous tunnel dans les récipients à parois ajourées (*25-350A*). À droite : Production de plants d'épinette blanche à racines nues couverte par une ombrière (au centre) et par du plastique microperforé.

Introduction

À chaque année, les plants forestiers produits dans les pépinières du Québec font face à des problèmes de gel hâtif ou tardif surtout lorsque la température fluctue entre -1 et -7 °C. Les pertes occasionnées par le gel et leur fréquence sont variables en fonction de l'essence, la provenance, des régies de culture et de la sévérité du gel dans la zone écologique où se situe la pépinière. En Ontario par exemple, la variabilité interannuelle des pertes de semis dues uniquement au gel dans la même pépinière peut varier entre 16 et 48 % (Colombo 1997). Pour limiter les pertes de semis au Québec, les pépiniéristes utilisent différentes techniques dont les arrosages systématiques surtout en début d'automne ou de printemps afin d'assurer aux semis une bonne protection contre le gel. Malheureusement, ces irrigations occasionnent la formation de glace, qui sous l'action de son poids, peut causer des bris des semis au niveau du collet, dus à la faible rigidité des tiges. Des travaux récents réalisés à la pépinière de Grandes-Piles ont montré que l'utilisation en hiver des couvertures isolantes, composées d'un géotextile blanc et d'un plastique résistant, permet de maintenir des conditions environnementales qui favorisent une augmentation de la température minimale, une réduction de la dessiccation hivernale et une protection contre les pluies hivernales (Lambany et Renaud 1996, 1998).

Différentes pratiques culturales (irrigation, fertilisation et photopériode) peuvent être utilisées pour amorcer l'initiation des bourgeons et la dormance en vue de conférer aux semis un endurcissement plus hâtif (Dymock et Dendwick 1987 ; Bigras et D'Aoust 1992, 1993). Soucieux de trouver des solutions de rechange efficaces et opérationnelles, le personnel de la pépinière de Trécesson a pris l'initiative d'installer, en 1998, une ombrière ou du plastique microperforé (supportés par des arceaux de métal au-dessus de productions 1+0 à racines nues), dans le but d'induire un endurcissement précoce des semis en début d'automne. Les observations préliminaires ont révélé que les semis d'épinette blanche à racines nues produits sous plastique microperforé à la pépinière de Trécesson ont aoûté plus tôt que ceux produits sous tunnel ou sous ombrière, ce qui laisse supposer que ce mode de production peut induire un endurcissement et une tolérance précoces des semis au gel.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour évaluer la tolérance au gel de la partie aérienne des semis aussi bien pendant l'endurcissement que le désendurcissement. Parmi celles-ci, il existe les méthodes suivantes : la libération des électrolytes (Bigras et Calmé 1994, Colombo et Raitanen 1993, Lamhamedi *et al.* 2000, McKay 1992, McKay et Mason 1991, Odlum et Blake 1996), le pourcentage de matière sèche (Bigras et Calmé 1994, Lamhamedi *et al.* 2000) et l'estimation visuelle des dommages (Jian 1992). Pour mieux discriminer entre les trois modes de production évalués (racines nues sous plastique microperforé, racines nues sous ombrière et récipients sous tunnel) quant à leur effet sur une induction éventuelle plus précoce de l'endurcissement et une tolérance accrue au gel hâtif, nous avons utilisé la méthode de libération des électrolytes, l'indice de dommages foliaires et le pourcentage de matière sèche de la pousse terminale de la partie aérienne (masse sèche/masse fraîche).

L'objectif de ce travail est de comparer les effets de ces trois modes de production sur les trois variables de tolérance au gel (conductivité électrolytique relative, indice de dommages et pourcentage de matière sèche) des semis d'épinette blanche à la fin de la première saison de croissance. Notre hypothèse est que le mode de production qui induit un arrêt de croissance, une formation précoce des bourgeons et une lignification accentuée des tissus (accompagnée d'une augmentation du pourcentage de matière sèche) peut induire chez les semis une meilleure tolérance au gel hâtif automnal.

Matériel et méthodes

Matériel végétal

Les semis d'épinette blanche (provenance EPB-8C1-L48-82-88) utilisés dans cette expérience ont été cultivés à racines nues et dans des récipients à parois ajourées (*IPL 25-350A*, 25 cavités par récipient, 350 cm^3 par cavité ; Saint-Damien, Québec, Canada) à la pépinière de Trécesson (48° 43' N., 78° 15' O.). Cette pépinière, qui est située près d'Amos en Abitibi, fait partie de la zone écologique 8c1 selon la carte écologique de Thibault et Hotte (1985), (degrés-jours : 1220 - 1280, aridité : 100 - 150). L'ensemencement a été effectué en mai 1998. Les plants produits dans les récipients à parois ajourées ont été cultivés dans les tunnels durant toute la saison de croissance. Par contre, les plants à racines nues ont été couverts soit par une ombrière caractérisée par un taux d'extinction de la lumière de 50 % (Modèle R2090, Centre des technologies des textiles, Québec, Canada) ou par un plastique microperforé (Plasti-Tech, Québec, Canada). La densité des perforations varie entre 500 et 800 au mètre carré, avec un diamètre de 0,952 cm. L'épaisseur du plastique varie entre 0,0020 et 0,0040 cm. Les caractéristiques morphologiques, le statut nutritionnel et le bilan des fertilisations des semis d'épinette blanche produits en fonction de chaque mode de culture sont indiqués au tableau 1.

Dispositif expérimental, gel artificiel et conductivité électrolytique

Au début du mois de septembre 1998, nous avons installé un dispositif complètement aléatoire constitué de quatre répétitions dans chacun des trois modes de production évalués (racines nues sous plastique microperforé, racines nues sous ombrière et récipients sous tunnel) (figure 1). Un suivi journalier des températures maximale et minimale a été effectué pour chacun des modes de production. Trois échantillonnages ont été réalisés à toutes les deux semaines entre le 28 septembre et le 26 octobre afin de déterminer l'état d'endurcissement des parties aériennes des semis d'épinette blanche (1+0) pour chacun des trois modes de production. Pour chaque répétition et à chacune des dates d'échantillonnage, 20 plants ont été récoltés

aléatoirement. Les plants ont été regroupés par répétition et mis dans des sacs en plastique préalablement identifiés. Ces sacs ont été placés dans une glacière et expédiés par courrier rapide le jour même à notre laboratoire (Forêt Québec, Direction de la recherche forestière).

À la réception des plants au laboratoire, ces derniers sont maintenus au réfrigérateur à une température de 4 °C. Le lendemain, les 20 plants/répétition/mode sont subdivisés en cinq groupes (4 plants/groupe) correspondant aux cinq températures de congélation. Ces températures (plants témoins maintenus à 4, -6, -10, -14 et -20 °C) sont contrôlées par un congélateur (modèle *T20RS*, Tenney Environmental Inc., Williamsport, PA, USA) muni d'un contrôle de programmation (modèle *Versa Tenn* II, Union, New Jersey, USA) avec un taux de refroidissement de 2 °C/heure. Avant le test de congélation, les quatre parties aériennes des plants de chaque répétition sont placées dans des erlenmeyers de 125 ml et rincées à trois reprises avec de l'eau déminéralisée.

Les séquences de programmation du congélateur sont les suivantes : stabilisation des plants à une température de 4 °C, abaissement des températures à un taux de 2 °C/heure jusqu'à 0 °C ; maintien des plants à cette température pendant une période de 8 heures, puis mise en opération du cycle de congélation au même taux de refroidissement. Lorsque la température de référence est atteinte, celle-ci est maintenue pendant une heure. Après l'atteinte de chaque niveau de congélation (-6, -10, -14 et -20 °C), les semis sont retirés du congélateur et placés dans un réfrigérateur à une température de 4 °C.

Afin de valider le programme de température retenu et de s'assurer du bon fonctionnement du congélateur, deux sondes de température sont installées dans des erlenmeyers distincts à l'intérieur du congélateur. Un appareil d'acquisition de données (modèle CR-10 , Campbell Scientific), muni de sondes de température (modèle 107B), enregistre les températures à toutes les trois minutes.

Le test de congélation complété, l'évaluation du niveau d'endurcissement des parties aériennes est effectuée en utilisant la méthode de libération des électrolytes (Colombo *et al.* 1984, Colombo et Raitanen 1993, Lamhamedi *et al.* 2000). Dans un premier temps, les échantillons sont saturés dans de l'eau déminéralisée pendant une nuit complète à une température de 4 °C, puis la libération des électrolytes (conductivité électrolytique mesurée en µSiemens/cm) de chaque échantillon est mesurée à l'aide d'un conductimètre (EC_1). Par la suite, les échantillons sont placés dans un autoclave à une température de 121 °C pendant 15 minutes afin de détruire toutes les cellules et favoriser la libération maximale des ions. La libération des électrolytes est remesurée (EC_2) après avoir saturé les tissus morts pendant une nuit complète à une température de 4 °C. La libération des électrolytes relative des plants témoins ou ayant subi les tests de congélation est calculée comme suit :

$$\text{Conductivité électrolytique relative}$$
$$RC\ (\%) = (EC_1 / EC_2)*100$$

La tolérance au gel est déterminée en se basant sur l'indice de dommages foliaires exprimé en terme de pourcentage (Flint *et al.* 1967) :

$$I_t = (RC_{\text{échantillon gelé}} - RC_{\text{témoin}})/1-(RC_{\text{témoin}}\div 100)$$

L'indice de dommages foliaires est une expression intégrant les dommages induits par le gel. Un indice élevé signifie que la tolérance au gel est faible, tandis que l'inverse indique que la tolérance au gel est élevée. Généralement, Jian (1992) considère que la tolérance au gel est acquise lorsque cet indice est inférieur à 1. Les valeurs de cet indice sont indépendantes du volume de l'échantillon et des variations saisonnières des électrolytes libres des parties aériennes qui peuvent être libérés en absence de gel. La tolérance au gel est l'état physiologique des semis leur permettant de tolérer des basses températures sans engendrer de dommages visibles (Levitt 1980).

Pourcentage de matière sèche

Le suivi du pourcentage de la matière sèche dans les pousses terminales a été effectué à trois dates durant le mois d'octobre 1998 afin d'évaluer le degré d'endurcissement des plants. À chaque date d'échantillonnage et pour chaque mode de culture, 50 à 100 plants sont choisis aléatoirement en vue de déterminer leurs poids frais et sec. La masse de la partie aérienne est déterminée par groupes de 10 plants après un séchage de 48 heures à l'étuve à 60 °C. Par la suite, la teneur en eau est calculée en utilisant le rapport (masse sèche/masse fraîche x 100).

Analyse statistique

À chacune des trois dates d'échantillonnage, les mesures de conductivité électrolytique relative ont été effectuées sur des échantillons composites (4 plants/échantillon). Chacun de ces échantillons composites est considéré comme étant l'unité expérimentale dans les analyses statistiques.

Le modèle statistique utilisé pour comparer les trois modes de culture est :

$$Y_{ijk} = \mu + MODE_i + BLOC_j + MODE*BLOC_{ij} + DATE_k + MODE*DATE_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

où Y_{ijk} = valeur obtenue pour le mode i dans le bloc j à la date k

μ = moyenne générale

$MODE_i$ = effet du mode de culture i

$BLOC_j$ = effet du bloc j

$MODE*BLOC_{ij}$ = effet de l'interaction entre le mode i et le bloc j

$DATE_k$ = effet de la date k

$MODE*DATE_{ik}$ = effet de l'interaction entre le mode i et la date k

ε_{ijk} = erreur expérimentale

L'effet BLOC ainsi que l'interaction MODE*BLOC sont des effets aléatoires et l'interaction BLOC*DATE est comprise dans l'erreur expérimentale. Les autres effets sont fixes.

Pour comparer l'effet des cinq températures sur la conductivité électrolytique relative et l'indice de dommages à l'intérieur de chaque mode de production, le modèle statistique utilisé est :

$$Y_{ijk} = \mu + TEMP_i + BLOC_j + TEMP*BLOC_{ij} + DATE_k + TEMP*DATE_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Les différences par rapport au modèle précédent sont comme suit :

Y_{ijk} = valeur obtenue pour la température i dans le bloc j à la date k

$TEMP_i$ = effet de la température i

$TEMP*BLOC_{ij}$ = effet de l'interaction entre la température i et le bloc j

$TEMP*DATE_{ik}$ = effet de l'interaction entre la température i et la date k

ε_{ijk} = erreur expérimentale

L'effet BLOC ainsi que l'interaction TEMP*BLOC sont des effets aléatoires alors que les autres effets sont fixes et l'interaction BLOC*DATE est comprise dans l'erreur expérimentale.

Les analyses de variance portant sur la conductivité électrolytique relative et l'indice de dommages ont été effectuées à l'aide de la procédure *MIXED de SAS* (Littel *et al.* 1996), avec un seuil théorique fixé à 5 %.

Pour les analyses statistiques concernant le pourcentage de matière sèche, nous avons utilisé un modèle statistique différent car les échantillonnages des plants ne sont pas effectués dans les blocs, mais plutôt réalisés aléatoirement dans chacun des traitements. Dans ce cas, l'unité expérimentale est constituée par un groupe de 10 plants.

Le modèle statistique utilisé est :

$$Y_{ijk} = \mu + MODE_i + DATE_k + MODE*DATE_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

où Y_{ijk} = valeur obtenue pour le mode i dans le bloc j à la date k

μ = moyenne générale

$MODE_i$ = effet du mode de culture i

$DATE_k$ = effet de la date k

$MODE*DATE_{ik}$ = effet de l'interaction entre le mode i et la date k

ε_{ijk} = erreur expérimentale

Tous les effets du modèle sont des effets fixes. Les analyses de variance ont été effectuées à l'aide de la procédure *GLM* de *SAS* (1999) et le seuil théorique a été fixé à 5 %. L'homogénéité des variances ainsi que la normalité ont préalablement été vérifiées avant d'effectuer les analyses de variance.

La comparaison des effets des trois modes de culture sur la conductivité électrolytique, l'indice de dommages foliaires et le pourcentage de matière sèche a été effectuée en utilisant les contrastes orthogonaux choisis a priori (ombrière et plastique microperforé ; tunnel et plastique microperforé, ombrière). Par contre, les comparaisons entre les différentes températures à l'intérieur de chaque mode de production ont été effectuées en utilisant les contrastes orthogonaux pris deux à deux.

Résultats

Variables environnementales

Les données climatiques enregistrées à la station météorologique la plus proche de la pépinière de Trécesson (Val-d'Or : 48° 04' N., 77° 47' O.) pendant la période 1951-1990 sont indiquées dans le tableau 2. Des températures minimales extrêmes pouvant atteindre -13,3 et -29,6 °C respectivement aux mois d'octobre et de novembre, indiquent qu'on peut anticiper des pertes de plants extrêmement importantes dues au gel hâtif. Par contre, les plants peuvent parfois profiter d'une protection assurée par l'accumulation d'une couverture nivale précoce, qui peut atteindre en moyenne 14,7 cm à partir du mois d'octobre (tableau 2).

Le suivi journalier des températures pour les trois modes de production en 1998 montre qu'à partir du début du mois de septembre, les températures maximales enregistrées sous le plastique microperforé sont généralement supérieures à celles observées pour les autres modes de production (ombrière, tunnel et absence de protection) (figure 2). L'ajout du plastique microperforé peut augmenter la température maximale vers la fin du mois de septembre de plus de 12 °C. Par contre, les températures minimales sont relativement similaires entre les trois modes avec des valeurs légèrement supérieures pour le mode de production sous plastique microperforé.

Comparaison des modes de production

Les résultats de l'analyse de variance (tableau 3) montrent que le mode de production a un effet significatif sur la conductivité électrolytique relative aux températures 4 °C (P = 0,0404), -10 °C (P = 0,0046), -14 °C (P = 0,0044) et -20 °C (P = 0,0314), tandis que cet effet significatif pour l'indice de dommages foliaires n'est observé que pour les températures -10 °C (P = 0,0020), -14 °C (P = 0,0023) et -20 °C (P = 0,0106) (tableau 4). L'effet de la date d'échantillonnage affecte la conductivité électrolytique des semis

Tableau 2. Normales climatiques (1951-1990) à la station météorologique de Val-d'Or (48° 04' N., 77° 47' O., 337 m)

	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température (°C)						
Maximum quotidien	23,4	21,4	15,8	9,0	0,3	-7,9
Minimum quotidien	10,8	9,5	5,0	-0,2	-7,8	-18,8
Moyenne quotidienne	17,1	15,5	10,4	4,4	-3,7	-13,3
Maximum extrême	36,1	36,1	32,2	26,1	18,3	13,7
Minimum extrême	-0,1	-2,8	-5,7	-13,3	-29,6	-40,6
Degrés-jours						
Au-dessus de 5 °C	376,4	325,6	167,6	56,8	3,2	0,2
Au-dessous de 0 °C	0,0	0,0	0,0	14,8	139,7	417,7
Précipitations						
Chutes de neige (cm)	0,0	0,0	1,6	14,7	48,7	65,0

(source : Environnement Canada, http://www.cmc.ec.gc.ca)

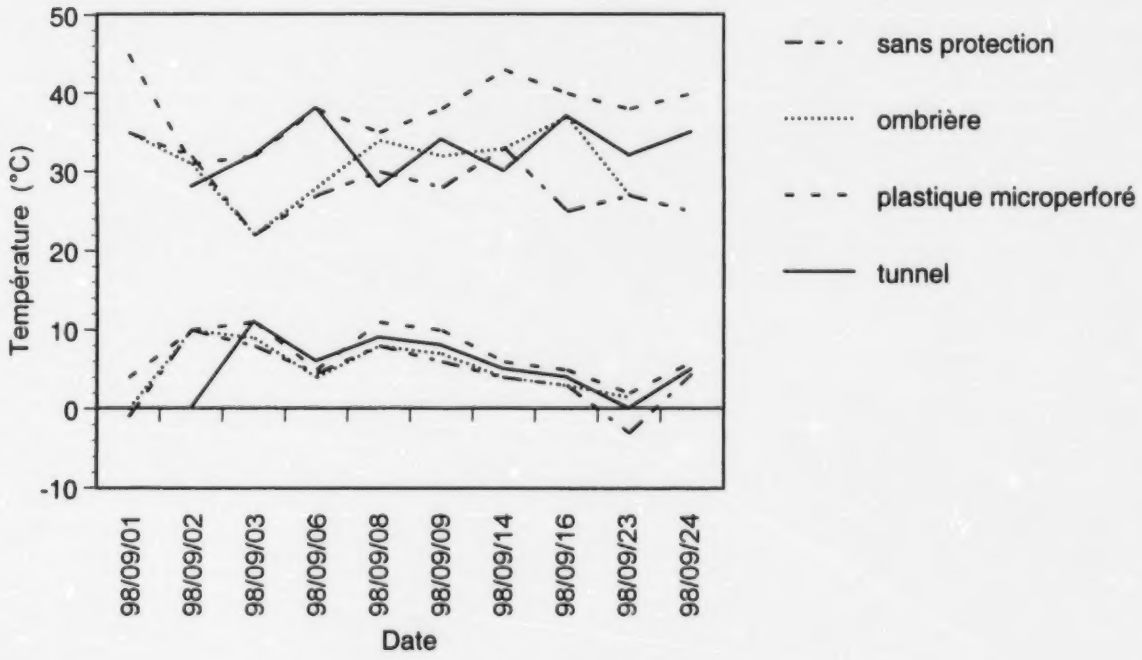


Figure 2. Variations des températures minimale et maximale en fonction des modes de production durant le mois de septembre 1998 à la pépinière de Trécesson.

Tableau 3. Effets des trois modes de production sur la conductivité électrolytique relative et comparaison des moyennes pour chacune des températures de congélation à l'aide des contrastes orthogonaux

Effets fixes	Degrés de liberté		Valeur de F	Probabilité > F
	Numérateur	Dénominateur		
Température : 4 °C				
Mode (M)	2	6	5,74	**0,0404**
Date (D)	2	18	127,35	**<,0001**
M * D	4	18	0,88	0,4971
Contrastes orthogonaux				
O contre PL	1	6	0,01	0,9402
T contre (PL et O)	1	6	11,48	**0,0147**
Température : -6 °C				
Mode (M)	2	6	1,11	0,3897
Date (D)	2	18	46,09	**<,0001**
M * D	4	18	0,83	0,5257
Température : -10 °C				
Mode (M)	2	6	15,06	**0,0046**
Date (D)	2	17	59,37	**<,0001**
M * D	4	17	13,59	**<,0001**
Contrastes orthogonaux par date				
O contre PL (**D_1***)	1	17	67,47	**<,0001**
T contre (PL et O)	1	17	13,65	**0,0018**
O contre PL (**D_2***)	1	17	0,01	0,9172
T contre (PL et O)	1	17	1,03	0,3238
O contre PL (**D_3***)	1	17	0,23	0,6391
T contre (PL et O)	1	17	0,02	0,8795

D_1 : 28 septembre, D_2 : 14 octobre, D_3 : 28 octobre

O : Ombrière ; PL : Plastique microperforé ; T : Tunnel

Tableau 3 (suite). Effets des trois modes de production sur la conductivité électrolytique relative et comparaison des moyennes pour chacune des températures de congélation à l'aide des contrastes orthogonaux

Effets fixes	Degrés de liberté Numérateur	Dénominateur	Valeur de F	Probabilité > F
		Température : -14 °C		
Mode (M)	2	6	15,33	**0,0044**
Date (D)	2	16	117,12	**<,0001**
M * D	4	16	12,24	**<,0001**
Contrastes orthogonaux par date				
O contre PL (D_1)	1	16	58,32	**<,0001**
T contre (PL et O)	1	16	11,10	**0,0042**
O contre PL (D_2)	1	16	2,67	0,1216
T contre (PL et O)	1	16	0,12	0,7303
O contre PL (D_3)	1	16	0,10	0,7528
T contre (PL et O)	1	16	0,45	0,5130
		Température : -20 °C		
Mode (M)	2	6	6,51	**0,0314**
Date (D)	2	17	143,93	**<,0001**
M * D	4	17	6,84	**0,0018**
Contrastes orthogonaux par date				
O contre PL (D_1)	1	17	31,07	**<,0001**
T contre (PL et O)	1	17	5,20	**0,0358**
O contre PL (D_2)	1	17	0,07	0,7894
T contre (PL et O)	1	17	0,04	0,8466
O contre PL (D_3)	1	17	0,08	0,7862
T contre (PL et O)	1	17	0,33	0,5749

D_1 : 28 septembre, D_2 : 14 octobre, D_3 : 28 octobre

O : Ombrière ; PL : Plastique microperforé ; T : Tunnel

Tableau 4. Effets des trois modes de production sur l'indice de dommages et comparaison des moyennes pour chacune des températures de congélation à l'aide des contrastes orthogonaux

Effets fixes	Degrés de liberté Numérateur	Dénominateur	Valeur de F	Probabilité > F
		Température : -6 °C		
Mode (M)	2	6	1,89	0,2310
Date (D)	2	18	1,51	0,2458
M * D	4	18	1,13	0,3731
		Température : -10 °C		
Mode (M)	2	6	20,96	**0,0020**
Date (D)	2	17	39,56	**<,0001**
M * D	4	17	20,27	**<,0001**
Contrastes orthogonaux par date				
O contre PL (**D_1**)	1	17	88,83	**<,0001**
T contre (PL et O)	1	17	31,44	**<,0001**
O contre PL (**D_2**)	1	17	0,31	0,5826
T contre (PL et O)	1	17	0,01	0,9331
O contre PL (**D_3**)	1	17	0,36	0,5554
T contre (PL et O)	1	17	0,56	0,4640

D_1 : 28 septembre, D_2 : 14 octobre, D_3 : 28 octobre

O : Ombrière ; PL : Plastique microperforé ; T : Tunnel

Tableau 4 (suite). Effets des trois modes de production sur l'indice de dommages et comparaison des moyennes pour chacune des températures de congélation à l'aide des contrastes orthogonaux

Effets fixes	Degrés de liberté Numérateur	Dénominateur	Valeur de F	Probabilité > F
		Température : -14 °C		
Mode (M)	2	6	19,63	**0,0023**
Date (D)	2	16	64,23	**<,0001**
M * D	4	16	11,79	**0,0001**
Contrastes orthogonaux par date				
O contre PL (**D_1**)	1	16	57,48	**<,0001**
T contre (PL et O)	1	16	18,72	**0,0005**
O contre PL (**D_2**)	1	16	1,10	0,3091
T contre (PL et O)	1	16	0,18	0,6776
O contre PL (**D_3**)	1	16	0,14	0,7087
T contre (PL et O)	1	16	0,00	0,9631
		Température : -20 °C		
Mode (M)	2	6	10,64	**0,0106**
Date (D)	2	17	108,59	**<,0001**
M * D	4	17	8,88	**0,0005**
Contrastes orthogonaux par date				
O contre PL (**D_1**)	1	17	36,92	**<,0001**
T contre (PL et O)	1	17	12,16	**0,0028**
O contre PL (**D_2**)	1	17	0,60	0,4505
T contre (PL et O)	1	17	0,84	0,3733
O contre PL (**D_3**)	1	17	0,04	0,8450
T contre (PL et O)	1	17	1,51	0,2352

D_1 : 28 septembre, D_2 : 14 octobre, D_3 : 28 octobre

O : Ombrière ; PL : Plastique microperforé ; T : Tunnel

d'une façon significative à toutes les températures de congélation, alors que l'indice de dommages n'est affecté de façon significative que pour les températures -10, -14 et -20 °C (tableau 4). L'interaction mode * date d'échantillonnage est significative pour la conductivité électrolytique et l'indice de dommages aux températures de -10, -14 et - 20 °C, indiquant que l'effet du mode de production varie en fonction de la date d'échantillonnage. Lorsque cette interaction est non significative, cela signifie que l'effet du mode de culture est similaire d'une date d'échantillonnage à l'autre. Ainsi, lorsque cet effet s'avère significatif au seuil de 5 %, les comparaisons à l'aide des contrastes orthogonaux sont effectuées séparément pour chacune des dates. Dans le cas contraire, nous comparons les modes de culture globalement pour toutes les dates d'échantillonnage. À la date D1 (28 septembre), la comparaison à l'aide des contrastes orthogonaux entre les modes de culture, quant à leur effet sur la conductivité et l'indice de dommages aux températures -10, -14 et -20 °C, montre que le mode de culture « ombrière » diffère significativement de celui utilisant le plastique microperforé. Le deuxième contraste révèle que le tunnel diffère aussi significativement de l'effet combiné du plastique microperforé et de l'ombrière (tableaux 3 et 4). Pour les autres dates (D2 et D3), les différences entre les modes de culture ne sont pas significatives (tableaux 3 et 4).

La tolérance au gel exprimée par l'indice de dommages foliaires des semis varie en fonction de la date d'échantillonnage et du mode de production (figure 3). Lors de la première date d'échantillonnage (28 septembre ; figure 3a), les parties aériennes des semis d'épinette blanche (1+0) issus des trois modes de production ont montré une bonne résistance à -6 °C, car l'indice de dommages foliaires est inférieur à 1. Par contre, les pertes de semis causées par le gel à -10 °C sont plus importantes sous plastique microperforé que sous les deux autres modes de production évalués. Ceci indique clairement que le mode de production sous plastique microperforé n'a pas induit chez les semis une bonne tolérance au gel à la fin du mois de septembre. Lorsque le gel est très prononcé (-14 et -20 °C), les dommages foliaires observés sont plus importants sous le plastique microperforé par comparaison aux deux autres modes évalués (figure 3a). À partir de la mi-octobre (1998), tous les semis issus des trois modes de production montrent un niveau d'endurcissement égal ou supérieur à une température de -10 °C (figure 3b). Par la suite, à la dernière date d'échantillonnage (28 octobre, D3), les indices de dommages foliaires et les conductivités électrolytiques relatives observés pour les trois modes ont considérablement baissé par comparaison à la première date d'échantillonnage permettant aux semis de résister à des gels de -20 °C (figure 3c, tableau 5).

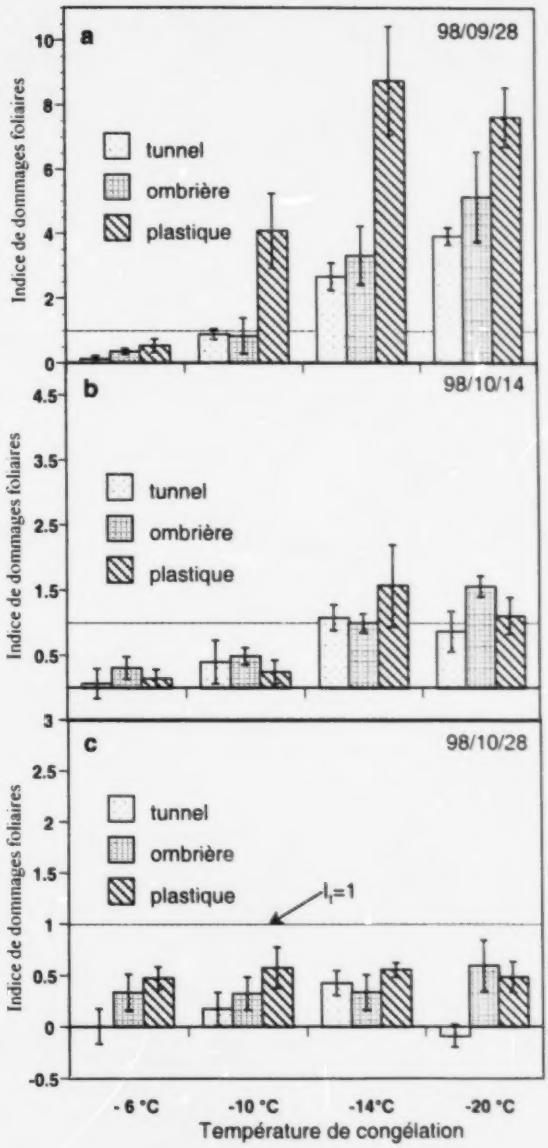


Figure 3. Variations de l'indice de dommages foliaires (I_i) des semis d'épinette blanche, durant l'automne 1998 à la pépinière de Trécesson, en fonction des températures de congélation et du mode de production (racines nues : ombrière et plastique ; tunnel : récipients à parois ajourées).

Tableau 5. Comparaison de l'effet des températures de congélation sur la conductivité électrolytique et l'indice de dommages foliaires pour chaque mode de production

Mode de production	Date	Températures de congélation (°C)				
		4	-6	-10	-14	-20
Ombrière (racines nues)			Conductivité électrolytique relative			
	30 septembre	2,34 d	2,70 cd	3,18 c	4,76 b	6,16 a*
	14 octobre	2,43 b	2,47 b	2,64 ab	3,15 a	3,71 a
	28 octobre	1,35 a	1,70 a	1,69 a	1,71 a	1,96 a
			Indice de dommages foliaires			
	30 septembre		0,34 c	0,83 c	2,48 b	3,86 a
	14 octobre		0,30 b	0,48 b	0,99 ab	1,55 a
	28 octobre		0,33 a	0,32 a	0,34 a	0,59 a
Plastique microperforé (racines nues)			Conductivité électrolytique relative			
	30 septembre	2,05 c	2,59 c	7,12 b	9,37 a	9,68 a
	14 octobre	2,43 c	2,59 bc	2,69 bc	4,02 a	3,55 ab
	28 octobre	1,32 a	1,80 a	1,90 a	1,88 a	1,80 a
			Indice de dommages foliaires			
	30 septembre		0,52 c	5,13 b	7,24 a	7,61 a
	14 octobre		0,14 b	0,24 b	1,57 a	1,10 ab
	28 octobre		0,48 a	0,57 a	0,55 a	0,48 a
Tunnel (récipient *25-350A*)			Conductivité électrolytique relative			
	30 septembre	2,81 d	2,95 d	3,71 c	5,49 b	6,75 a
	14 octobre	2,64 b	2,73 b	3,06 ab	3,74 a	3,53 a
	28 octobre	1,67 a	1,68 a	1,85 a	2,10 a	1,59 a
			Indice de dommages foliaires			
	30 septembre		0,11 d	0,87 c	2,64 b	3,91 a
	14 octobre		0,06 c	0,39 bc	1,07 a	0,87 ab
	28 octobre		0 a	0,17 a	0,42 a	-0,09 a

* Horizontalement, les chiffres suivis de lettres différentes indiquent la présence de différences significatives en utilisant des contrastes orthogonaux deux à deux au seuil de 5 %.

Pour chaque mode de production, la conductivité électrolytique et l'indice de dommages foliaires diminuent en fonction de l'état d'endurcissement des semis. À la première date d'échantillonnage, les semis produits sous plastique microperforé montrent des conductivités électrolytiques relatives et des indices de dommages relativement élevés indiquant leur sensibilité au gel artificiel (tableau 5).

Pourcentage de matière sèche

Le pourcentage de matière sèche des pousses terminales varie d'une façon significative en fonction de la date d'échantillonnage ($P < 0,0001$) et du mode de production ($P < 0,0001$) (tableau 6). L'interaction date * mode a un effet significatif sur le pourcentage de matière sèche ($P = 0,0141$). La comparaison des moyennes des pourcentages de matière sèche ne révèle de différences significatives, entre le mode de production sous ombrière et le plastique microperforé, qu'à la fin du mois d'octobre ($P = 0,0040$). Par contre, la comparaison entre les pourcentages de matière sèche des plants produits en récipients sous tunnel et celles à racines nues produits sous les deux modes (ombrière et plastique microperforé) montre des différences significatives lors des trois dates d'échantillonnage. Les plants produits en récipients à parois ajourées *25-350A* sous tunnel montrent des pourcentages de matière sèche significativement supérieurs par rapport aux plants à racines nues produits sous ombrière ou sous plastique microperforé (figure 4, tableau 6).

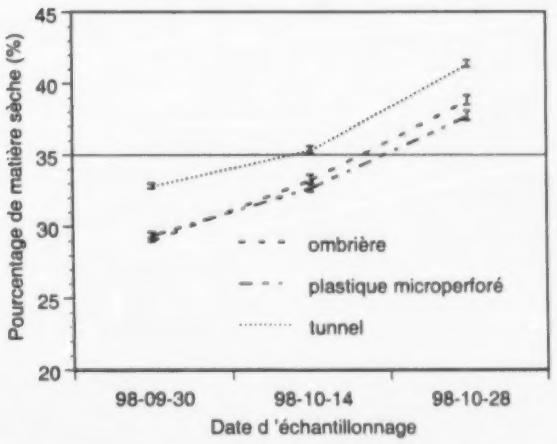


Figure 4. Évolution du pourcentage de matière sèche des pousses terminales des semis d'épinette blanche, en fonction des modes de production, durant l'automne 1998 à la pépinière de Trécesson.

Tableau 6. Analyse de la variance et comparaison des pourcentages de matière sèche entre les trois modes de production

Source de variation	Degrés de liberté	SCE	CM	F	Pr > F
Date	2	849,34	424,67	795,03	**<,0001**
Mode	2	105,87	52,93	99,10	**<,0001**
Mode * Date	4	7,35	1,84	3,44	**0,0141**
Contrastes					
O contre PL (D_1)	1	0,49	0,49	0,92	0,3424
T contre (PL et O)	1	49,23	49,23	92,17	**<,0001**
O contre PL (D_2)	1	1,27	1,27	2,37	0,1296
T contre (PL et O)	1	20,84	20,84	39,01	**<,0001**
O contre PL (D_3)	1	4,84	4,84	9,06	**0,0040**
T contre (PL et O)	1	36,55	36,55	68,43	**<,0001**

D_1 : 28 septembre, D_2 : 14 octobre, D_3 : 28 octobre

O : Ombrière ; PL : Plastique microperforé ; T : Tunnel

Discussion

Le mode de production (plastique, ombrière, tunnel) affecte significativement l'endurcissement des plants d'épinette blanche durant la première saison de croissance. Les contrastes orthogonaux montrent que la résistance au gel des semis produits en récipients à parois ajourées (*IPL 25-350A*) diffère significativement de celle des semis à racines nues des deux autres modes vers la fin de septembre (tableaux 3 et 4). À l'inverse du tunnel et de l'ombrière, l'utilisation du plastique microperforé favorise une transition précoce et marquée de la phase de croissance active jusqu'à l'arrêt de croissance. L'initiation précoce des bourgeons sous le plastique microperforé laisse supposer que les semis vont acquérir une meilleure tolérance au gel hâtif par comparaison aux deux autres modes de production utilisés. Or, les valeurs élevées de conductivité électrolytique et de l'indice de dommages comparativement aux deux autres modes montrent que le maintien du plastique microperforé durant la phase d'aoûtement rend les semis plus sensibles au gel à la fin de septembre (figure 3a, tableau 5). Par contre, à partir de la mi-octobre, aucune différence significative n'est observée entre les trois modes évalués quant à leur effet sur la conductivité électrolytique relative et l'indice de dommages (tableaux 3 et 4). Cette mesure de conductivité est basée sur le fait que les cellules des aiguilles endommagées par le gel libèrent facilement leurs électrolytes ; ils subissent par la suite une migration dans le sens symplastique-apoplastique responsable de l'augmentation des valeurs de conductivité électrolytique. À l'inverse, les cellules vivantes des aiguilles non endommagées maintiennent leurs électrolytes symplastiques et par conséquent la libération des électrolytes est faible.

Malgré que les semis produits sous le plastique microperforé peuvent être classés dormants, leur état physiologique est probablement demeuré actif vers la fin de septembre, étant donné que les températures moyennes sous ce mode de production n'ont pas subi une baisse marquée. Le plastique microperforé maintient en effet un environnement très chaud en agissant comme une mini-serre et a pu retarder les processus d'acclimatation au froid. En effet, l'endurcissement ne peut être accompli qu'en réaction à une longue exposition des plants à de faibles températures associées à une courte photopériode (Weiser 1970, Colombo 1995, Lindstrom 1995), ce qui peut expliquer l'indice de dommages foliaires élevé vers la fin du mois de septembre (figure 3a). Greer *et al.* (2000) ont démontré clairement que l'acquisition de la tolérance au gel des plants du pin radiata est fortement liée à la baisse de la température. Selon Sakai et Larcher (1987), l'acquisition de la tolérance au gel est accompagnée par des processus biochimiques fortement influencés par la température et qui ont lieu en deux étapes. La première étape concerne l'accumulation des glucides et des lipides lorsque la température est entre 10 et 20 °C. La seconde étape est activée par les basses températures favorisant la synthèse des protéines et des lipides membranaires tout en induisant des changements structuraux. Cette deuxième étape peut être retardée chez les semis produits sous plastique perforé, ce qui peut expliquer en partie la sensibilité des semis au gel artificiel lors de la première date d'échantillonnage.

À l'inverse de notre hypothèse de départ, l'utilisation du plastique microperforé installé sur des arceaux de métal, telle que pratiquée dans cet essai, n'a pas amélioré ni devancé le degré de résistance précoce au gel des semis vers la fin du mois de septembre. Il semble que la dormance induite est probablement une dormance apparente causée par des conditions environnementales défavorables à la croissance des plants générées par le plastique microperforé. La sensibilité au gel artificiel des semis produits sous le plastique microperforé, surtout à la fin du mois de septembre, laisse supposer que le plastique microperforé, tel qu'il est utilisé, a retardé ou modifié la perception des signaux environnementaux par les semis pour activer l'endurcissement. Les baisses de température et de photopériode sont des conditions nécessaires pour induire un endurcissement adéquat des semis (Bigras et D'Aoust 1992, Christersson 1978, Colombo et Raitanen 1991, Kozlowski *et al.* 1991). Même après l'apparition des bourgeons, le maintien de cette couverture a probablement retardé le déclenchement de la deuxième étape du processus d'endurcissement (augmentation de la concentration en certains acides aminés, augmentation du pourcentage de matière sèche, accumulation de certains glucides, etc.). Les plus faibles pourcentages de matière sèche obtenus sous le plastique microperforé laissent présager que ce mode de production a relativement retardé les processus de lignification (figure 4, tableau 6).

L'endurcissement est un mécanisme complexe, contrôlé par l'interaction de plusieurs facteurs qui peuvent modifier l'initiation, la cinétique d'acquisition et la stabilité de la tolérance au gel. Cette tolérance ne peut être améliorée que par une synchronisation des processus physiologiques et des régies de culture permettant d'initier le plus rapidement possible l'endurcissement des plants. L'aoûtement précoce observé chez les semis produits sous le plastique microperforé n'a pas induit un endurcissement suffisant pour limiter les dommages foliaires causés par le gel artificiel. Contrairement aux deux autres modes de production, la formation rapide des bourgeons observée sous le plastique microperforé n'est probablement due qu'à l'interaction des stress thermique et hydrique engendrés par ce mode de culture. Odium et Colombo (1989) ont en effet observé que les températures variant entre 10 et 24 °C tôt à l'automne favorisent l'initiation rapide des bourgeons. Nos récentes observations montrent que le maintien d'une régie d'irrigation de 15 % (v/v) favorise la formation précoce des bourgeons des semis d'épinette blanche (1+0) produits en récipients à parois ajourées (Christiansen *et al.* 2000).

Conclusion

La conductivité électrolytique et l'indice de dommages foliaires ont permis de discriminer adéquatement entre les trois modes de production quant à leur effet sur la résistance au gel des semis d'épinette blanche. La résistance au gel des semis produits en récipients à parois ajourées, évaluée à l'aide de la conductivité électrolytique et l'indice de dommages, diffère significativement de celle des semis à racines nues surtout en début d'automne. Malgré la formation précoce des bourgeons en réponse à l'utilisation du plastique microperforé, ce mode n'a pas permis d'améliorer la résistance au gel des semis d'épinette blanche surtout à la fin du mois de septembre. Cependant, cette différence entre les trois modes de production en terme de résistance au gel s'est estompée dès la mi-octobre. À la lumière des résultats obtenus, il serait préférable d'enlever le plastique microperforé tôt après la formation des bourgeons pour permettre aux semis de percevoir plus aisément les signaux environnementaux (variations de températures et photopériode) leur permettant d'amorcer les modifications physiologiques nécessaires et d'acquérir une tolérance au gel précoce. L'installation d'un dispositif expérimental pour évaluer l'effet de la date d'enlèvement du plastique microperforé en fonction de la cinétique de la formation des bourgeons serait un atout pour mieux approfondir nos connaissances sur l'effet de ce mode de production sur la tolérance au gel des semis et les possibilités de son utilisation en pépinière durant la première saison de croissance.

Remerciements

Cet essai technique a été réalisé dans le cadre du projet 0204-282S : Chartes d'endurcissement de l'épinette blanche 1+0. Nous tenons à remercier le personnel de la pépinière de Trécesson (MRN, Forêt Québec). Nous adressons aussi des remerciements à MM. Jean Gagnon (MRN, Forêt Québec), Gil Lambany (MRN) et Bertrand Fecteau (Pampev inc.) qui ont révisé ce texte. Nous remercions également Mme Barbara Sochanski ainsi que M. Sylvain Végiard pour l'analyse statistique et pour la validation de l'essai. Finalement, des remerciements vont à M. Pierre Bélanger et à Mme Sylvie Bourassa pour la révision, la mise en page et l'édition de ce document.

Références bibliographiques

Bigras, F.J. et S. Calmé, 1994. *Viability tests for estimating root cold tolerance of black spruce seedlings*. Can. J. For. Res. 24 : 1039-1048.

Bigras, F.J. et A.L. D'Aoust, 1993. *Influence of photoperiod on shoot and root frost tolerance and bud phenology of white spruce seedlings (*Picea glauca*)*. Can. J. For. Res. 23 : 219-228.

Bigras, F.J. et A.L. D'Aoust, 1992. *Hardening and dehardening of shoots and roots of containerized black spruce and white spruce seedlings under short and long days*. Can. J. For. Res. 22 : 388-396.

Christersson, I., 1978. *The influence of photoperiod and temperature on the development of frost hardening in seedlings of* Pinus silvestris *and* Picea abies. Physiol. Plant. 44 : 288-294.

Christiansen, S.D., M.S. Lamhamedi, H. Margolis, M. Renaud et H. Chamberland, 2000. *Caractéristiques physiologiques et morphologiques des semis d'épinette blanche produits dans les récipients à parois ajourées en réponse à différentes régies d'irrigation*. 68e Congrès de l'ACFAS. 1 p.

Colombo, S.J., 1997. *Frost hardening spruce container stock for overwintering in Ontario*. New Forests 13 : 449-467.

Colombo, S.J., 1995. *What we have done to counteract overwintering problems in forest tree seedlings in Ontario*. Dans : L'hivernage des plantes ligneuses et des vivaces ornementales. Colloque organisé par l'Institut québécois du développement de l'horticulture ornementale. 9-10 février 1995, Trois-Rivières. p. 135-158.

Colombo, S.J. et E.M. Raitanen, 1993. *Frost hardening in first-year eastern larch (*Larix laricina*) container seedlings*. New Forests 7 : 55-61.

Colombo, S.J. et E.M. Raitanen, 1991. *Frost hardening in white cedar container seedlings exposed to intermittent short days and cold temperatures*. Forestry Chronicle 67 : 542-544.

Colombo, S.J., C. Glerum et D.P. Webb, 1984. *Frost hardiness testing : an operational manual for use with extended greenhouse culture*. Ministry of Natural Resources of Ontario, Forest research report No. 110. 14 p.

Dymock, I.J. et F.M. Dendwick, 1987. *Monitoring viability of overwintering container stock*. Dans : Proceedings of the 1986 prairie federal-provincial nurserymen's meeting. September 9-11, 1986, in The Pas, Manitoba. Ed. E.M. Harvey. Information Report NOR-X-287. Northern Forestry Centre. Canadian Forestry Service. p. 21-35.

Flint, H.L., B.R. Boyce et D.U. Beattie, 1967. *Index of injury - a useful expression of freezing injury to plant tissues as determined by the electrolyte method*. Can. J. Plant Sci. 47 : 229-230.

Greer, D.H., L.A. Robinson, A.J. Hall, K. Klages et H. Donnison, 2000. *Frost hardening of* Pinus radiata *seedlings : effects of temperature on relative growth rate, carbon balance and carbohydrates concentration*. Tree Physiol. 20 : 107-114.

Jian, J., 1992. *Monitoring the development of cold tolerance in container-grown red pine and black spruce seedlings*. Thèse de maîtrise. Université du Maine, Etats-Unis. 41p.

KOZLOWSKI, T.T., P.J. KRAMER et S.G. PALLARDY, 1991. *The physiological ecology of woody plants*. Academic Press Inc., San Diego, California, USA. 657 p.

LAMBANY, G. et M. RENAUD, 1996. *Étude des conditions de température observées dans une production de plants d'épinette blanche hivernés au sol ou déposés sur des plateaux de culture*. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Rapport interne n° 415. 23 p.

LAMBANY, G. et M. RENAUD, 1998. *Étude des conditions de température observées dans une culture d'épinette noire 1+0 hivernée sous toile*. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Rapport interne n° 431. 20 p.

LAMHAMEDI, M.S., G. LAMBANY, M. RENAUD, L. VEILLEUX et S. PLAMONDON, 2000. *Gestion de l'irrigation en pépinière et évaluation des semis d'épinette blanche produits dans les récipients à parois ajourées*. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche n° 138. 36 p.

LEVITT, J., 1980. *Responses of plants to environmental stresses. Vol. 1, Chilling, freezing and high temperature stresses*. Academic Press, New York. 497 p.

LINDSTROM, A., 1995. *Overwintering of containerized conifer seedlings - A risk venture*. Dans : L'hivernage des plantes ligneuses et des vivaces ornementales. Colloque organisé par l'Institut québécois du développement de l'horticulture ornementale. 9-10 février 1995, Trois-Rivières. p. 167-177.

LITTEL, R.C., G.A. MILLIKEN, W.W. STROUP et R.D. WOLFINGER, 1996. *SAS® system for mixed models*. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 633 p.

MCKAY, H.M., 1992. *Electrolyte leakeage from fine roots of conifer seedlings : a rapid index of plant vitality following cold storage*. Can. J. For. Res. 22 : 1371-1377.

MCKAY, H.M. et W.L. MASON, 1991. *Physiological indicators of tolerance to cold storage in Sitka spruce and Douglas-fir seedlings*. Can. J. For. Res. 21 : 890-901.

ODLUM, K.D. et T.J. BLAKE, 1996. *A comparison of analytical approaches for assessing freezing damage in black spruce using electrolyte leakeage methods*. Can. J. Bot. 74 : 952-958.

ODLUM, K.D. et S.J. COLOMBO, 1989. *The influence of night temperature on bud initiation in black spruce seedlings*. Can. J. For. Res. 19 : 274-275.

SAKAI, A. et W. LARCHER, 1987. *Frost survival of plants : responses and adaptation to freezing stress*. Ecological studies. Vol. 62. Springer, New York. 321 p.

SAS INSTITUTE INC., 1999. *SAS user's guide : Statistics*, version 8.00, Cary, NC, USA.

THIBAULT, M. et D. HOTTE, 1985. *Les régions écologiques du Québec méridional, deuxième approximation*. Service cartographique, ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.

WEISER, C.J., 1970. *Cold resistance and injury in woody plants*. Science 169 : 1269-1278.

2000-3131

Québec
Ministère des
Ressources naturelles

ISBN 2-550-36798-7
Dépôt légal 2000
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
© 2000 Gouvernement du Québec